

**<記事>(5) 微粉炭の流動，燃烧のシミュレーション
 (主題：製錬プロセスにおける流動現象)(第 26 回
 鉄鋼製錬研究懇談会)(選鉱製錬研究会記事)**

著者	山田 猛雄
雑誌名	東北大学選鉱製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	46
号	2
ページ	134-135
発行年	1991-03-29
URL	http://hdl.handle.net/10097/33059

(3) 分子運動論に基づく流動現象の数値解析

東北大学流体研 南部 健一

流体科学研究所低密度気体研究部門では、ナビエ・ストークス方式が成立しない真空域の流れを、ボルツマン方程式を用いて数値解析する手法を確立した。最近ではこの解析法を、薄膜形成過程のシミュレーション、宇宙船の希薄気体力学特性の解明、真空機械の設計計算などに応用している。ここでは薄膜の問題を取り上げる。

薄膜作成法の代表的なものは、真空蒸着法、スパッタ法、CVD法であろう。いずれの方法においても、真空中での原子・分子の運動が重要な役割を果たす。

真空蒸着法では 10^{-4} Torr 以下の真空中で物質を加熱蒸発させ、蒸発した分子を基板上凝縮させて薄膜を作成する。通常の取り扱いでは蒸発分子同士の衝突を全く考えていないが、これは飽和蒸気圧が零の極限でしか成立しない。実際には蒸発面近傍で分子間衝突が起き、これによって分子の飛行方向が変わる。これは、基板上の膜厚分布に大きな影響を与えることが分かった。

スパッタ法でもターゲットから放出されるスパッタ粒子と残留ガス分子の衝突が、基板上に形成される膜の、成長速度の大きさとその分布に大きな影響を与える。我々はこの問題もスーパーコンピュータを用いてシミュレートし、アルミ薄膜の成長過程、スパッタ粒子の粒子の逆拡散現象などを明らかにした。

減圧 CVD 法では、圧力は低くても 0.1 Torr 程度である。ナビエ・ストークス方程式の適用範囲内だが、分子論的取り扱いの方が、分子の壁での反応確率を容易に組み入れることができるので優れている。分子衝突の反応断面積のデータが不十分なので、気相反応を無視し、シランの表面反応だけによるシリコン膜の成長速度を求め、流れ場との相関を明らかにした。

(4) 微粉炭吹き込みにおける固気混相流動現象の数値解析

(株)神戸製鋼所 鉄鋼技術研究所

柴田 耕一朗, 清水 正賢

近年、高炉の溶銑コスト低減やコークス炉の寿命延長(負荷低減)を目的とした羽口部からの微粉炭

吹き込み、また、溶銑の低 Si 化や高炉の生産弾力性強化を粗った粉鉱石吹き込みが精力的に指向されている。今後、高炉へ大量の粉体原料を吹き込んでいくためには、炉内での粉体の流動特性や滞留挙動を明確にし、ガス流分布の変化や圧力損失の増大を防止することが重要である。

従来、高炉のような充填層内での粉体の流動特性に対しては、Ergun タイプの流体抵抗力を用いてガスと粉体との相互作用力が表現されてきたが、この記述法は粉体が集団化して運動するような高濃度領域でのみ採用可能である。この問題について、希薄領域も含めより広い濃度範囲で適用可能なガス-粉体相互作用力の記述式を導出し、高炉内での粉体の流動特性を解析した。その結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 粉体-ガス間の相互作用力は、ドラック力と Richardson Zaki の空間率関数によって表現可能である。
- 2) 粉体の運動抵抗係数は、Fr 数により整理出来る。
- 3) 粉体による閉塞現象は、粉体と充填粒子で形成される充填層の水力学的等価直径が粒径の 6 倍以下になったとき生じる。
- 4) 粉体は高炉内で融着帯の最下端近傍に滞留しやすい。
- 5) 高炉の融着帯形状が逆 V 型の場合、粉体の滞留とともに炉壁流が抑制され、中心流が発達する。W 型の場合には、逆に炉壁流が発達する。
- 6) 粉体の多量吹き込み下で操業を安定に維持するには、融着帯を逆 V 型に形成させることが重要である。

(5) 微粉炭の流動、燃焼のシミュレーション

出光興産(株)新燃料部 山田 猛雄

日本における一般炭の使用は、第二次オイルショック以後増加を続けている。又、本年発表された総合エネルギー調査会需給部会の長期エネルギー需給見通しでもさらに増加することをが予測されている。一方、国内の石炭生産は減少の一途をたどり供給の多くは、オーストラリアをはじめとする海外炭に頼っている。従って、供給される石炭の種類は非常に数多く、多用である。又、これらの一般炭の利用技術の面から考えると、発電用、産業用微粉炭焚ボイラー

が中心で、セメントキルンやストーカー焚ボイラーでの利用は限られている。今後高炉での微粉炭吹き込みや流動層燃焼ボイラー、さらには石炭ガス化複合発電による利用の増加が予測されるがここ 20 年位は微粉炭焚ボイラーが中心であることは変わらないであろう。従ってこのように多様な石炭を規模、型式の異なる微粉炭焚ボイラーで燃焼する場合の最適燃焼条件をシミュレーションによって選定する技術の確立は非常に有意義である。

当研究室では熱流体解析ソフト「FLUENT」を改良し、微粉炭焚ボイラーのシミュレーションを試みている。先づ、2つの異なるタイプのバーナーを持つ微粉炭燃焼実験炉を用いて、本システムの有効性を確認した。即ち、6 Kg/Hr の実験炉では、主に、二段燃焼空気量を変えた時の未燃炭素率の挙動に関して、計算値と実測値とを比較し、複雑なケースでも良く一致することがわかった。さらに、30 Kg/Hr のより実機に近いバーナーを持つ大型の実験炉でも、流速分布、温度分布、未燃炭素率の炉内測定を行い充分精度よく予測可能であることを確認した。次いで、当社の製油所にある微粉炭焚ボイラーで、このシミュレーションの有効性を実証した。即ち、二段燃焼用空気量の増加が、必ずしも未燃分を増加させない現象を流動解析から、炉内のガス混合状態の改善、粒子滞留時間の増加として説明できるだけでなく、実際に燃焼反応モデルを流動・伝熱解析とリンクさせて計算し、現実の結果とよく一致することを実証できた。

(6) 充填層における気・固・液流動現象の解析

東北大学選研 高 橋 礼二郎

コークス充填層型下水汚泥処理炉内では高炉下部と同様、熔融および燃焼反応を伴う極めて複雑な気・固・液流動現象が生じている。演者らは高温下における気・固・液 3 相充填層内の流動現象を記述するため、以下のように各々の現象を表わす 2 次元、3 次元モデルおよびそれらのいくつかを組合わせた複合モデルを開発し、いくつかの検証実験も行った。

1) ガス流れモデル：ガスの流動はもっとも速く、炉内温度分布、微粉の運動に強く影響を与えるので重要である。ガス流れは炉体形状、空隙率分布等に強く支配される。

2) 固体流れモデル：固体の運動はもっとも遅い。

固体の形状は反応の進行と共に変化し、空隙率を変え、ガスおよび液流れに影響を及ぼす。

3) 化学反応モデル：コークスの燃焼反応、ソリューションロス反応、固体の熱分解反応を考慮した。反応熱は炉内温度分布に影響を及ぼす。

4) 伝熱モデル：気・固・液間熱交換速度、発熱吸熱反応および炉壁からの熱損失を考慮した。

5) 相変化モデル：固・液・気相間の相変化によって生じる温度ならびに体積変化を考慮した。

6) 液流れモデル：ガス流れ条件下における充填層内での液流れを考慮した。

本報では主題に合わせて、“流動現象”を中心として、ガス流れモデル(1)、固体流れモデル(2)、液流れモデル(6)および複合モデル(ガス流れ+固体流れ+伝熱)について、その概要ならびに検証実験結果について報告する。

第38回 非鉄金属製錬研究懇談会

(平成 2 年 11 月 27 日)
於 東北大学選鉱製錬研究所

主題：製錬プロセスにおける物質の流れ、流動現象

(1) 電解二酸化マンガンを(EMD)製造プロセスの自動化と問題点

東北大学選研 小 澤 昭 弥

電解二酸化マンガンの製造の下記の各工程についてその大略を解説し、各々が含む問題点を指摘した。

1. 原料(MnCO_3 , MnO_2 鉱石)を処理し硫酸溶液に可溶な形とする。 MnCO_3 はそのまま、 MnO_2 鉱石は 900°C に加熱して MnO として使用する。
2. 電解液の調製と精製(MnO を硫酸溶液に溶解し、金属不純物などを除去する)。
 - a) $\text{MnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (約 1 mol/l の濃度にする)。
 - b) $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ と pH 調整によって $\text{Fe}(\text{OH})_3$ を沈澱除去する。
 - c) Ni, Co などの重金属を sulfide として沈澱除去する。
 - d) K^+ の多い鉱石のときは、Jarosite として K^+ を除去する。